



(19) RU⁽¹¹⁾ 2 133 489⁽¹³⁾ C1
(51) МПК⁶ G 04 C 11/02, 13/00, 13/02

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

(21), (22) Заявка: 97111623/28, 09.07.1997

(46) Дата публикации: 20.07.1999

(56) Ссылки: В.С. Шебшаевич, П.П. Дмитриев, Н.В. Иванцевич и др. Сетевые спутниковые радионавигационные системы/Под ред. В.С. Шебшаевича. - М.: Радио и связь, 1993, с.255-257, рис.17.1, рис.17.2. RU 2080646 C1, 27.05.97. RU 2037172 C1, 09.06.95. EP 0564220 A2, 06.10.93.

(98) Адрес для переписки:
193019, Санкт-Петербург, Обводный канал 14,
АОЗТ ФИРМА "КОТЛИН", Генеральному
директору Писареву С.В.

(71) Заявитель:

Акционерное общество закрытого типа Фирма
"КОТЛИН"

(72) Изобретатель: Малюков С.Н.,

Матюшенко А.Д., Охинченко А.П.

(73) Патентообладатель:

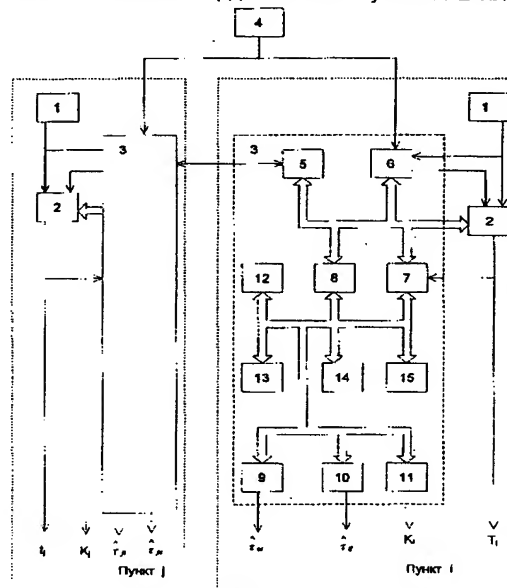
Акционерное общество закрытого типа Фирма
"КОТЛИН"

(54) СИСТЕМА ФОРМИРОВАНИЯ ВРЕМЕННЫХ ПОПРАВОК ПО СИГНАЛАМ СПУТНИКОВОЙ РАДИОНАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ К ШКАЛАМ ВРЕМЕНИ ПРОСТРАНСТВЕННО РАЗНЕСЕННЫХ ПУНКТОВ

(57) Реферат:

Система относится к радиотехнике и может использоваться при решении задач, связанных с синхронизацией шкал времени пространственно разнесенных пунктов. Система содержит подсистему космических аппаратов спутниковой радионавигационной системы (ПКА СРНС) и N пространственно разнесенных пунктов, каждый из которых содержит опорный генератор, формирователь шкалы времени и связанное с ними устройство синхронизации (УС). Каждое из УС связано навигационным радиоканалом с ПКА СРНС и содержит блок связи с УС синхронизации других пунктов. В каждое из УС введен приемоизмеритель СРНС, блоки управления, памяти, экстраполяции поправок, сравнения поправок, контроля качества синхронизации, осреднения координат, усреднения ансамбля поправок, сглаживания временных поправок и блок сравнения с опорными значениями. Каждое УС принимает сигналы навигационного радиоканала и канала связи с другими УС и формирует на своих выходах системные поправки, относительные поправки и признак качества временных поправок. Система обеспечивает повышение точности определения и оперативный контроль качества системной и

относительной поправок к местной шкале времени каждого из N пунктов при отсутствии точного знания координат этих пунктов. 2 ил.



Фиг. 1



(19) RU (11) 2 133 489 (13) C1

(51) Int. Cl.⁶ G 04 C 11/02, 13/00, 13/02

RUSSIAN AGENCY
FOR PATENTS AND TRADEMARKS

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21), (22) Application: 97111623/28, 09.07.1997

(46) Date of publication: 20.07.1999

(98) Mail address:
193019, Sankt-Peterburg, Obvodnyj kanal 14,
AOZT FIRMA "KOTLIN", General'nomu direktoru
Pisarevu S.V.

(71) Applicant:
Aksionernoe obshchestvo zakrytogo tipa
Firma "KOTLIN"

(72) Inventor: Maljukov S.N.,
Matjushenko A.D., Okhinchenko A.P.

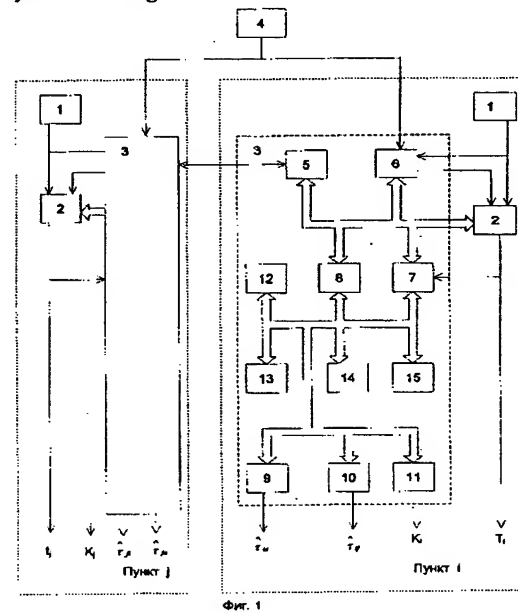
(73) Proprietor:
Aksionernoe obshchestvo zakrytogo tipa
Firma "KOTLIN"

(54) SYSTEM FORMING TIME CORRECTIONS TO TIME SCALES OF POINTS SEPARATED BY SPACE BY SIGNALS OF SATELLITE RADIO NAVIGATION SYSTEM

(57) Abstract:

FIELD: radio engineering, solving of problems related to synchronization of time scales of points separated by space. SUBSTANCE: proposed system includes subsystem of spacecraft of satellite radio navigation system and N points separated by space. Each point has reference generator, former of time scale and synchronization aid coupled to it. Each synchronization aid is linked through navigation radio channel to subsystem of spacecraft of satellite radio navigation system and has unit communicating with synchronization aids of other points. Each synchronization aid is inserted with reception meter of satellite radio navigation system, control unit, storage, correction extrapolation unit, correction comparison unit, unit testing quality of synchronization, unit averaging coordinates, unit averaging ensemble of corrections, unit smoothing time corrections and unit comparing them with reference values. Each synchronization aid receives signals of navigation radio channel and channel communicating with other synchronization aids and forms system corrections, relative corrections and character of quality of time corrections across its outputs. System provides for increased accuracy of determination and timely check of quality of

system and relative corrections to local time scale of each of N points in absence of exact knowledge of coordinates of these points. EFFECT: increased accuracy of system. 2 dwg



Фиг. 1

Изобретение относится к радиотехнике и может быть использовано в системах единого времени, радионавигационных системах наземного базирования, в пространственно распределенных системах контроля и управления при решении задач, связанных с синхронизацией шкал времени пространственно разнесенных пунктов.

Известно большое число устройств и систем, использующих разные способы синхронизации шкал времени (ШВ) пространственно разнесенных пунктов.

Для синхронизации ШВ используют, в частности, транспортируемые часы, как в устройстве для синхронизации часов [1] по патенту РФ N 2024042, кл. G 04 C 11/00, передаваемые по радиоканалу сигналы точного времени, как в часах с управлением по радио [2] по заявке Германии N 4230531, кл. G 04 C 11/02, излучение и двойную ретрансляцию маркерного сигнала, как в способе сличения ШВ [3] по а.с. СССР N 1644079, кл. G 04 C 11/02, или в способе синхронизации ШВ [4] по а.с. СССР N 1712942, кл. G 04 C 11/02.

В последнее время для синхронизации ШВ пространственно разнесенных пунктов используют сигналы подсистемы космических аппаратов (ПКА) спутниковых радионавигационных систем (СРНС).

Известна, например, система синхронизации часов по радиоканалу [5] по патенту РФ N 2037172, кл. G 04 C 13/00, 13/02, которая содержит группу ведущих часов, группу удаленных часов, центральные часы, синхронизатор СРНС, ПКА СРНС, линии связи от удаленных часов к центральным часам, линии связи от центральных часов к ведущим часам и к синхронизатору СРНС, радиоканал меток времени ведущих часов, навигационный радиоканал ПКА СРНС, радиоканал связи синхронизатора и ПКА СРНС.

В состав каждой ведущих часов входят: аппаратура приема шкалы системного времени (АПШВ), аппаратура сравнения ШВ (АСШВ), анализатор результатов привязки ШВ (РПШВ), блок памяти (БП), программный блок, формирователь сигналов управления и последовательно соединенные опорный генератор (ОГ), формирователь местной ШВ (ФШВ), формирователь сигналов времени и радиопередатчик.

В состав каждой удаленных часов входят: радиоприемник, АПШВ, АСШВ, РПШВ, измеритель разности времени и последовательно соединенные ОГ и ФШВ.

В состав центральных часов входят: коммутатор линий связи от удаленных часов, радиоприемник, АПШВ, АСШВ, РПШВ, измеритель разности времени, формирователь поправок и признаков достоверности, формирователь сигналов управления, ключ и последовательно соединенные ОГ и ФШВ.

На ведущих часах с использованием ОГ и ФШВ формируется ШВ, из сигналов которой формирователь сигналов времени формирует маркерный сигнал, который через радиопередатчик передается в радиоканал меток времени ведущих часов. Эти метки времени принимаются радиоприемниками на удаленных и центральных часах.

На удаленных часах по принятым меткам времени с учетом априорно известного

времени распространения в измерителе разности времени и РПШВ формируются поправки к ШВ удаленных часов, которые с выхода РПШВ поступают на ФШВ удаленных часов и через линию связи от удаленных часов к центральным часам, где через коммутатор линий связи они поступают в формирователь поправок и признаков достоверности и используются для контроля качества синхронизации ШВ удаленных часов.

Метки времени от ведущих часов в центральных часах с учетом времени распространения сравниваются в измерителе разности времени с ШВ центральных часов и на основании полученных результатов в РПШВ и формирователе поправок и признаков достоверности формируются поправки для ШВ каждой из ведущих часов, групповая поправка по всей группе ведущих часов и контролируется качество синхронизации ведущих часов. По результатам контроля формирователь сигналов управления формирует разрешение на передачу сигналов коррекции ШВ на каждые из ведущих часов, которые через ключ центральных часов по линии связи поступают в БП ведущих часов и затем используются в программном блоке для формирования входного сигнала формирователя сигналов управления, сигналы с выхода которого используются для управления частотой и фазой ОГ ведущих часов, обеспечивая синхронизацию их ШВ относительно групповой ШВ, сформированной на центральных часах.

После выполнения всех описанных выше процедур предварительной синхронизации ШВ ведущих и удаленных часов относительно групповой ШВ на центральных часах с помощью АПШВ принимают по навигационному радиоканалу сигналы от ПКА СРНС и определяют с учетом априорно известных координат центральных часов текущее значение системного времени СРНС, которое в АСШВ сравнивается с ШВ центральных часов, и полученная поправка ШВ через РПШВ поступает в формирователь поправок и признаков достоверности для уточнения групповой ШВ. Кроме того, указанная поправка передается по линии связи в синхронизатор СРНС, где используется для синхронизации системной ШВ СРНС с ШВ центральных часов, после чего по радиоканалу связи синхронизатора и ПКА СРНС ШВ каждого космического аппарата (КА) из состава ПКА синхронизируется с системной ШВ СРНС.

Затем на каждом часах из групп ведущих и удаленных часов с помощью входящих в их состав АПШВ и АСШВ принимаются сигналы от ПКА и определяется поправка к собственной ШВ, которая затем используется для высокоточной синхронизации ШВ ведущих и удаленных часов между собой и с ШВ центральных часов.

Как следует из приведенного описания система [5] содержит большое число разнородных блоков и линий связи и требует последовательного проведения большого числа операций по предварительной синхронизации ШВ, что снижает надежность системы.

Кроме того, анализ качества синхронизации и формирование признаков достоверности в системе [5] обеспечивается

только на центральных часах, что не обеспечивает оперативный контроль достоверности синхронизации ШВ на ведущих и удаленных часах.

Известна система формирования временных поправок по сигналам спутниковой радионавигационной системы к шкалам времени пространственно разнесенных пунктов, описанная в [6, с. 255, ..., 257, рис. 17.1, рис. 17.2]. Она принята в качестве прототипа. Структурная схема прототипа представлена на фиг. 2.

Система - прототип содержит ПКА 4 СРНС и N пространственно разнесенных пунктов (на фиг. 2 в качестве примера представлены i-й и j-й пункты из числа N пунктов). Каждый из пунктов, в том числе i-й и j-й пункты, содержит последовательно соединенные ОГ 1 и ФШВ 2, выход которого является выходом шкалы времени (t_i или t_j) данного пункта, i-го или j-го соответственно, где $i \neq j \in (1, \dots, N)$, а также устройство синхронизации (УС) 3, которое посредством навигационного радиоканала связано с ПКА 4 и содержит блок связи (БС) 5, приемопередающие входы - выходы которого являются входами - выходами канала связи УС 3 данного пункта с аналогичными УС 3 других пунктов. При этом задающий вход УС 3 соединен с выходом ФШВ 2. УС 3 содержит также АПШВ 16, радиочастотный вход которой является входом приема сигналов навигационного радиоканала УС 3, информационный вход АПШВ 16 является входом ввода в УС 3 точных координат данного пункта (например X_i, Y_i, Z_i для i-го или X_j, Y_j, Z_j для j-го пунктов соответственно), а выход АПШВ 16 подключен к первому входу АСШВ 17, выход которой является выходом системных

поправок УС 3 \dot{t}_{ic} для i-го или \dot{t}_{jc} для j-го пунктов) и, кроме того, подключен к информационному входу БС 5 и первому входу сумматора 18, второй инверсный вход которого соединен с информационным выходом БС 5, а выход сумматора 18 является выходом относительных поправок (например \dot{t}_{ij} для i-го или \dot{t}_{ji} для j-го пунктов). При этом второй вход АСШВ 17 является задающим входом УС 3.

Система - прототип работает следующим образом.

В АПШВ 16 каждого пункта вводятся точные координаты этого пункта (например, X_i, Y_i, Z_i для i-го пункта). На радиочастотный вход АПШВ 16 поступают сигналы от ПКА 4. В сигнале каждого КА из состава ПКА 4 содержится метка времени, момент приема которой ($\Delta t_{\text{АП}}$) фиксируется в АПШВ 16 относительно аналогичной метки времени ее внутренней опорной ШВ. Кроме того, в служебной информации сигнала каждого КА из состава ПКА 4 передается информация, определяющая текущее положение КА на орбите, оцифровка передаваемой метки времени и поправочные коэффициенты, обеспечивающие расчет расхождения передаваемой с КА метки времени с соответствующей меткой времени системной ШВ СРНС. С использованием принятой информации и введенных точных координат пункта в АПШВ 16 рассчитываются поправки на распространение сигнала на трассе между

КА из состава ПКА 4-АПШВ 16 (τ_p) и на расхождение переданной метки времени с меткой времени системной ШВ СРНС (τ_c).

Оцифровка внутренней опорной ШВ АПШВ 16 приводится в соответствие с оцифровкой принятой метки времени и фиксируется величина поправки Δt_c к внутренней ШВ $t_{\text{АП}}$ АПШВ 16 относительно системной ШВ СРНС

$$\Delta t_c = \Delta t_{\text{АП}} - \tau_p + \tau_c. \quad (1)$$

На выходе АПШВ 16 формируется системная ШВ

$$t_c = t_{\text{АП}} + \Delta t_c \quad (2)$$

Одновременно на каждом пункте, например i-м, в ФШВ 2 с использованием сигнала опорной частоты от ОГ 1 формируется местная ШВ t_i . Сигналы с выходов ФШВ 2 и АПШВ 16 поступают на соответствующие входы АСШВ 17, где формируется системная поправка (относительно системной ШВ) для ШВ данного пункта

$$\dot{t}_{ic} = t_c - t_i. \quad (3)$$

Поправка \dot{t}_{ic} выхода АСШВ 17 передается на первый вход сумматора 18 и на информационный вход БС 5, с приемопередающего входа - выхода которого через канал связи поправка \dot{t}_{ic} поступает на приемопередающие входы - выходы БС 5 других пунктов. Одновременно с этим БС 5 данного пункта принимает значение поправки от других пунктов, например от j-го, которая поступает с информационного выхода БС 5 на второй инверсный вход сумматора 18, на выходе которого формируется относительная поправка вида

$$\dot{t}_{ij} = \dot{t}_{ic} - \dot{t}_{jc} = t_j - t_i. \quad (4)$$

Таким образом, в системе - прототипе за счет использования сигналов от ПКА 4 в УС 3 обеспечивается на каждом из N пространственно разнесенных пунктов системы формирование поправок к местной ШВ как относительно системной ШВ (системные поправки), так и относительно ШВ любого из N пунктов системы (относительные поправки).

Однако в системе - прототипе указанные задачи решаются только при наличии априорного задания точных координат каждого из N пунктов, что ограничивает использование системы - прототипа случаем расположения N пунктов системы в местах с известными точными координатами. Также в системе - прототипе не контролируется текущая погрешность определения поправок, что снижает их достоверность. Кроме того, формируемые в системе - прототипе поправки имеют низкую точность, обусловленную структурными особенностями системы.

Для подтверждения последнего утверждения рассмотрим подробнее характеристики поправок, формируемых в системе - прототипе.

Каждое определение $\Delta t_{\text{АП}}$ в АПШВ 16 производится с погрешностью $\Delta_{\text{изм}}$, обусловленной наличием шумов в сигналах, принимаемых от ПКА 4, и погрешностями процедур измерения. Кроме того, действительное запаздывание сигнала на трассе КА из состава ПКА 4-АПШВ 16 отличается от расчетного значения τ_p на

величину Δ_p , обусловленную влиянием неидеальностей параметров трассы (отклонения в ионосфере, тропосфере и т.п.). Расчет поправок τ_p и τ_c также производится с погрешностями Δ_{pp} и Δ_{pc} , которые вызваны погрешностями описания положения КА на орбите, ошибками задания поправочных коэффициентов для расчета текущего рассогласования ШВ КА с системной ШВ и ошибками задания координат пункта, на котором проводится определение поправок. В результате конкретное значение однократного определения t_c в АПШВ 16 будет иметь следующий вид

$$t_c = t_{\Delta} + \Delta t_c = t_{0c} + \Delta_{изм} + \Delta_{pp} + \Delta_{pc} + \Delta_p \quad (5)$$

где t_{0c} - истинное значение системной ШВ.

Кроме того, согласно (2) и (5) определение t_c в АПШВ 16 проводится, как следует из структуры системы - прототипа, с использованием внутренней опорной шкалы АПШВ 16 t_{Δ} , текущие значения которой отличаются от значений t местной ШВ пункта на некоторую величину $\Delta_{ШВ}(t)$

$$t_{\Delta} = t + \Delta_{ШВ}(t) \quad (6)$$

Тогда согласно (3), с учетом (5) и (6), получим на i -м пункте

$$\dot{t}_{ic} = \tau_{0ic} + \Delta \dot{t}_{ic} \quad (7)$$

$$\text{где } \Delta \dot{t}_{ic} = \Delta_{ШВ} + \Delta_{изм} + \Delta_{pp} + \Delta_{pc}$$

τ_{0ic} - истинное значение системной поправки к ШВ i -го пункта.

Соответственно для j -го пункта

$$\dot{t}_{jc} = \tau_{0jc} + \Delta \dot{t}_{jc} \quad (8)$$

В результате согласно (4), (7) и (8) значение относительной поправки \dot{t}_{ij} будет определяться как

$$\dot{t}_{ij} = \dot{t}_j - \dot{t}_i + (\Delta \dot{t}_j + \Delta \dot{t}_i) = \tau_{0ij} + \Delta \dot{t}_{ij} \quad (9)$$

Кроме рассмотренных составляющих погрешности определения временных поправок в системе - прототипе имеют место также составляющие Δ_{zic} и Δ_{zij} , обусловленные запаздыванием определения указанных поправок из-за задержек в АПШВ 16, АСШВ 17, БС 5, сумматоре 18 и в канале связи между отдельными пунктами системы. В итоге получим

$$\dot{t}_{ic} = \tau_{0ic} + \Delta \dot{t}_{ic} + \Delta_{zic} \quad (10)$$

$$\tau_{ij}^* = \tau_{0ij} + \Delta \dot{t}_{ij} + \Delta_{zij} \quad (11)$$

Заявляемое изобретение направлено на расширение возможностей использования системы формирования временных поправок, в частности на случай, когда N пунктов системы расположены в местах с априорно неизвестными точными координатами, повышение точности и достоверности формируемых поправок.

Поставленные задачи решаются за счет того, что в системе формирования временных поправок по сигналам спутниковой радионавигационной системы к шкалам времени пространственно разнесенных пунктов, содержащей подсистему космических аппаратов спутниковой радионавигационной системы и N пространственно разнесенных пунктов, каждый из которых содержит последовательно соединенные опорный генератор и формирователь шкалы времени, выход которого является выходом шкалы

времени данного пункта, а также устройство синхронизации, которое посредством навигационного радиоканала связано с подсистемой космических аппаратов спутниковой радионавигационной системы и содержит блок связи, приемопередающие входы - выходы которого являются входами - выходами канала связи данного устройства синхронизации с устройствами синхронизации других пунктов, а задающий вход устройства синхронизации соединен с выходом формирователя шкалы времени, в каждое устройство синхронизации введены приемоизмеритель спутниковой радионавигационной системы, блок управления, блок памяти, блок экстраполяции поправок, блок сравнения поправок, блок контроля качества синхронизации, блок осреднения координат, блок усреднения ансамбля поправок, блок сглаживания временных поправок и блок сравнения с опорными значениями, причем радиочастотный вход приемоизмерителя является входом приема сигналов навигационного радиоканала устройства синхронизации, опорный вход приемоизмерителя соединен с выходом опорного генератора, выход меток времени внутренней шкалы времени приемоизмерителя подключен ко входу установки формирователя шкалы времени, информационный вход которого связан через первую шину информационного обмена с информационными входами - выходами приемоизмерителя и блока связи, а также с первыми информационными входами - выходами блока памяти и блока управления, задающий вход которого является задающим входом устройства синхронизации, а вторые информационные входы - выходы блока управления и блока памяти связаны второй шиной информационного обмена с информационными входами - выходами блока экстраполяции поправок, блока сравнения поправок, блока контроля качества синхронизации, блока осреднения координат, блока усреднения ансамбля поправок, блока сглаживания временных поправок и блока сравнения с опорными значениями, причем исполнительные выходы блока экстраполяции поправок, блока сравнения поправок и блока контроля качества синхронизации являются соответственно выходами системных поправок, относительных поправок и признака качества временных поправок устройства синхронизации.

Сущность изобретения, возможность его осуществления и решения поставленных технических задач поясняются чертежами, представленными на фиг. 1 и 2, где на фиг. 1 изображена структурная схема заявляемой системы в одном из возможных вариантов исполнения, а на фиг. 2 - структурная схема системы - прототипа.

Заявляемая система формирования временных поправок по сигналам спутниковой радионавигационной системы к шкалам времени пространственно разнесенных пунктов содержит (фиг. 1) N пространственно разнесенных пунктов (на фиг. 1 в качестве примера представлены i -й и j -й пункты из числа N пунктов), каждый из которых содержит последовательно соединенные опорный генератор (ОГ) 1 и формирователь

RU 213348 C1

RU 213348 C1

RU 213348 C1

RU 213348 C1

RU 213348 C1

RU 213348 C1

RU 213348 C1

RU 213348 C1

5

10

20

20

25

50

55

60

координаты;

m - объем массива выборки;

X_{ij} - значение i -го отсчета координаты на i -м пункте.

При этом время осреднения $T_{ос.к}$ (и соответственно значение m) выбирается на основании известных параметров априорного распределения составляющих ошибок $\Delta x_i(Y_i, Z_i)$ и в зависимости от используемого в ПИ 6 алгоритма навигационных определений может составлять от нескольких часов до нескольких суток.

Контроль $T_{ос.к}$ ведется в БУ7, на задающий вход которого поступают текущие отсчеты времени t_i с выхода ФШВ 2, формирующего местную ШВ i -го пункта из тактового сигнала от ОГ 1. В частности, такой контроль может производиться на основе проверки

$$\Delta t_i = t_i - t_{ок} \leq T_{ос.к}, \quad (13)$$

где $t_{ок}$ - время начала процедуры осреднения координат.

По результатам проверки при $\Delta t_i = T_{ос.к}$ по команде, передаваемой по второй шине информационного обмена от БУ7 в БОК 12, значение $\sigma_{x_i}(Y_i, Z_i)$ или $\sigma_{x_i}(Y_i, Z_i)$ передается из БОК 12 в БСОЗ 15, где сравнивается с некоторым опорным значением Δ_0 , которое по той же команде передается в БСОЗ 15 из БП 8, где устанавливается заранее, исходя из условия минимизации вклада величины неопределенности координат i -го пункта в ошибку последующего определения системных и относительных временных поправок τ_{ic} и τ_{ij} . Как правило, достаточно обеспечить $\sigma_{x_i}(Y_i, Z_i)$ в пределах 0,5 - 0,1 м, чтобы вкладом этой составляющей в ошибки определения временных поправок можно было пренебречь.

Если условие

$$\sigma_{x_i}(Y_i, Z_i) \leq \Delta_0 \quad (14)$$

не выполняется, то по соответствующему сигналу, поступающему из БСОЗ 15, в БУ 7 производится увеличение времени осреднения $T_{ос.к}$ и продлевается процедура осреднения координат в БОК 12 согласно (12), по окончании которой в БСОЗ 15 вновь проверяется выполнение условия (14). При его выполнении БУ 7 вырабатывает команду на занесение в БП 8 из БОК 12 полученных осредненных значений $\hat{x}_1, \hat{y}_1, \hat{z}_1$ в

качестве истинных координат i -го пункта (X_{0i}, Y_{0i}, Z_{0i}). Затем по команде от БУ 7 производится передача по первой шине информационного обмена значений X_{0i}, Y_{0i}, Z_{0i} из БП 8 в ПИ 6, после чего определяются временные поправки τ_{ic} и τ_{ij} согласно описанной ниже процедуре.

Внутренняя шкала времени $t_{дл}$ ПИ 6 формируется с использованием сигнала, поступающего с выхода ОГ 1 на опорный вход ПИ 6. При этом $t_{дл}$ и местная ШВ i -го пункта t_i , формируемая ФШВ 2, совпадают между собой с точностью до некоторой постоянной

$$\Delta_{шв0} = (\eta + \lambda) T_{мв}, \quad (15)$$

где $T_{мв}$ - период следования меток времени внутренней ШВ на соответствующем

выходе ПИ 6,

$\eta = 1, 2, 3, \dots$ - определяет целое число

$T_{мв}$ в $\Delta_{шв0}$.

$\lambda \leq 1$ - определяет величину некрatности

$T_{мв}$ и $\Delta_{шв0}$.

При подаче сигнала меток времени с выхода ПИ 6 на вход установки ФШВ 2 производится совмещение границ соответствующих интервалов t_i на выходе ФШВ 2 с метками времени ПИ 6, что обеспечивает в (15) $\lambda = 0$. Кроме того код оцифровки внутренней ШВ ПИ 6 с его информационного входа-выхода через первую шину информационного обмена поступает на информационный вход ФШВ 2 и заносится в ФШВ 2 для оцифровки меток времени местной ШВ t_i , что обеспечивает в (15) $\eta = 0$.

Далее в ПИ 6, как и в АПШВ 16 системы-прототипа, определяется согласно (1) поправка Δt_c . Но, так как в (15) $\eta = \lambda = 0$, $t_{дл} = t_i$, следовательно

$$\Delta_{швi} = 0 \text{ и } \Delta t_c = \tau_{ic} \quad (16)$$

При этом согласно (7) и (16)

$$\tau_{ic} = \tau_{0ic} + \varepsilon_{zi}, \quad (17)$$

где $\varepsilon_{zi} = \Delta_{измi} + \Delta_{прi} + \Delta_{р0i}$.

Соответственно, на j -м пункте

$$\tau_{jc} = \tau_{0jc} + \varepsilon_{zj} \quad (18)$$

Каждый отсчет системной поправки τ_{icd} с информационного входа-выхода ПИ 6 передается через первую шину информационного обмена на первый информационный вход-выход БП 8, где он записывается в массив измерений системных поправок вместе с кодом времени его получения. По мере накопления в БП 8 массива измерений системных поправок указанные отсчеты передаются по второй шине информационного обмена в БСВП 13, где с использованием стандартных процедур, например метода наименьших квадратов, калмановской фильтрации и т. п., производится их усреднение и оценка параметров апостериорного распределения, в качестве которых обычно используются коэффициенты априорно выбранной интерполирующей функции и дисперсия. В частности, при использовании в качестве интерполирующей функции полинома второго порядка с усреднением по методу наименьших квадратов получается система уравнений

$$\left\{ \begin{aligned} \hat{a}_0(L+1) + a_1 \sum_{i=1}^L 1 + a_2 \sum_{i=1}^L 1^2 &= \sum_{i=1}^L \tau_{ic1} \\ a_0 \sum_{i=1}^L 1 + a_1 \sum_{i=1}^L 1^2 + a_2 \sum_{i=1}^L 1^3 &= \sum_{i=1}^L 1 \tau_{ic1} \\ a_0 \sum_{i=1}^L 1^2 + a_1 \sum_{i=1}^L 1^3 + a_2 \sum_{i=1}^L 1^4 &= \sum_{i=1}^L 1^2 \tau_{ic1} \end{aligned} \right\}, \quad (19)$$

где a_0, a_1, a_2 - коэффициенты интерполирующего полинома,

τ_{icd} - отсчеты системной поправки,

L - объем массива отсчетов τ_{icd} .

Решение системы уравнений (19) относительно неизвестных a_0, a_1, a_2 в БСВП 13 дает их оценки a_0^*, a_1^*, a_2^* и

соответственно l -е значения
интерполирующей функции

$$\hat{\tau}_{ic}^* = a_0^* + a_1^* l + a_2^* l^2. \quad (20)$$

Затем определяется апостериорная
ошибка оценки временной поправки

$$\varepsilon_{\Sigma i \mu} = \left[\frac{1}{L} \sum_{l=1}^L (\tau_{ic l}^* - \hat{\tau}_{ic l})^2 \right]^{1/2} \quad (21)$$

и среднее на интервале сглаживания
значение системной поправки

$$\begin{aligned} \tau_{cpl}^* &= \tau_{ic l}^* + a_1^* \left(\frac{L}{2} - l \right) + a_2^* \left[\left(\frac{L}{2} \right)^2 - l^2 \right] \\ \tau_{ic}^* &= \frac{1}{L} \sum_{l=1}^L \tau_{cpl}^*. \end{aligned} \quad (22)$$

Полученные значения a_0^* , a_1^* ,
 a_2^* , $\varepsilon_{\Sigma i \mu}$, τ_{ic}^* передаются из БСВП 13 в БП 8,
где запоминаются вместе с кодом их
временной привязки, соответствующим
времени получения среднего в массиве L
отсчета τ_{ic} .

Следует отметить, что получение оценки τ_{ic}^*
в виде среднего на интервале сглаживания
значения приводит к ее запаздыванию
относительно текущего значения τ_i на
половину интервала сглаживания

$$T_L = L \cdot T_1. \quad (23)$$

где T_1 - дискрет времени получения
отсчетов τ_{ic} на выходе ПИ 6.

Чтобы уменьшить возникающую при этом
динамическую ошибку формирования

системной поправки значения τ_{ic}^* , a_1^* ,
 a_2^* передаются из БСВП 13 в БЭП 9, где
значение поправки τ_{ic}^* экстраполируется на
заданный интервал и в виде текущей оценки
системной поправки $\hat{\tau}_{ic}$ передается на

исполнительный выход БЭП 9

$$\hat{\tau}_{ic} = \tau_{ic}^* + a_1^* \frac{L}{2} + a_2^* \left(\frac{L}{2} \right)^2. \quad (24)$$

Ошибка ε_i определения τ_{ic} в (17) на
каждом μ -ом сеансе работы ПИ 6 по сигналу
некоторого КА из состава ПКА 4 может быть
представлена в общем случае в виде суммы
двух составляющих

$$\varepsilon_i = m_{i\mu} + \sigma_{i\mu}, \quad (25)$$

где $m_{i\mu}$ - смещение τ_{ic} на μ -ом сеансе,
 $\sigma_{i\mu}$ - составляющая ошибки,
флуктуирующая на μ -ом сеансе.

Факторы, обуславливающие появление
этих составляющих в оценке τ_{ic} на выходе ПИ
6, подробно рассмотрены в [6, стр. 255, ...,
263]. В результате, при каждом сеансе
определения $\hat{\tau}_{ic}$ в БСВП 13 в соответствии с

(21) будет усредняться только
составляющая $\sigma_{i\mu}$ и $\varepsilon_{i\mu}$ можно записать как

$$\varepsilon_{i\mu} = m_{i\mu} + \left(\frac{1}{L} \sigma_{i\mu}^2 \right)^{1/2} \quad (26)$$

В то же время, как следует из [6, стр.
110, ..., 114, 136, ..., 138, 251, 299, ...,
305] значение $m_{i\mu}$ для разных сеансов

определения $\hat{\tau}_{ic}$ случайно. Поэтому

появляется возможность усреднения $m_{i\mu}$ на
основе использования ансамбля

оценок $\tau_{i\mu}^*$, полученных по сигналам
различных КА из состава ПКА 4, либо по
сигналу одного КА с разносом на интервал
времени, превышающий интервал
корреляции $m_{i\mu}$.

На каждом сеансе определения системной
поправки в БП 8 записываются значения $\tau_{i\mu}^*$,
 $a_{1i\mu}^*$, $a_{2i\mu}^*$ и код времени их получения ($t_{i\mu}$).
После набора в БП 8 массива этих данных
для M сеансов в БУ 7 определяется среднее
значение времени определения системной
поправки, например как

$$t_{iop} = \frac{t_{i\mu max} + t_{i\mu min}}{2}. \quad (27)$$

Далее каждое из M
значений $\tau_{i\mu}^*$ передается из БП 8 в БЭП 9,
где оно экстраполируется на момент времени
 t_{iop} в соответствии с выражением

$$\tau_{e i \mu}^* = \tau_{i \mu}^* + a_{1 i \mu}^* \left(\frac{t_{i o p} - t_{i \mu}}{T_1} \right) + a_{2 i \mu}^* \left(\frac{t_{i o p} - t_{i \mu}}{T_1} \right)^2. \quad (28)$$

Затем значения $\tau_{e i \mu}^*$ из БЭП 9 передаются
в БУАП 14, где производится усреднение
параметров системной поправки по ансамблю
из M поправок на момент времени t_{iop}

$$\left. \begin{aligned} \tau_{cp}^* &= \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \tau_{e i \mu}^* \\ a_{1cp}^* &= \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M a_{1 i \mu}^* \\ a_{2cp}^* &= \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M a_{2 i \mu}^* \end{aligned} \right\}. \quad (29)$$

При этом в силу декорреляции
составляющих $\varepsilon_{i\mu}$ в (26) для различных μ из
 M , $\varepsilon_{ср i}$ определяется выражением

$$\varepsilon_{ср i} \approx \frac{\varepsilon_{i\mu}}{\sqrt{M}}. \quad (30)$$

Полученные

значения τ_{cp}^* , a_{1cp}^* , a_{2cp}^* передаются из БУАП
14 в БП8, где они запоминаются вместе с
соответствующим значением $t_{ср}$. Затем они
используются для формирования в БЭП 9

опорного значения $\tau_{0i\mu}^*$ для каждой
последующей системной поправки $\tau_{i\mu}^*$ в
соответствии с выражением

$$\tau_{0 i \mu}^* = \tau_{cp}^* + a_{1cp}^* \frac{t_{i\mu} - t_{ср}}{T_1} + a_{2cp}^* \frac{t_{i\mu}^2 - t_{ср}^2}{T_1^2} \quad (31)$$

Полученное значение $\tau_{0i\mu}^*$ из БЭП 9

передается в БСОЗ 15, где оно в качестве опорного сравнивается с поступающим из БП 8 текущим значением $\tau_{i\mu}^*$ и определяется их взаимная "невязка", например как

$$\chi_{ic\mu} = |\tau_{i\mu}^* - \tau_{c\mu}^*|. \quad (32)$$

Значение невязки $\chi_{ic\mu}$ передается из БСОЗ 15 в БККС 11, где на основе ее сравнения с априорно установленным значением допустимого отклонения системной поправки (Δ_c) вырабатывается признак качества системной поправки, например как

$$K_{ic\mu} = \begin{cases} 1 & \text{при } \chi_{ic\mu} \leq \Delta_c \\ 0 & \text{при } \chi_{ic\mu} > \Delta_c \end{cases}. \quad (33)$$

Полученный признак качества системной поправки запоминается в БП 8 и передается на исполнительный выход БККС 11.

Одновременно значения $\tau_{i\mu}^*$, $a_{1\mu}^*$, $a_{2\mu}^*$, $t_{i\mu}$, $\epsilon_{i\mu}$ и $K_{ic\mu}$ с первого информационного входа-выхода БП 8 через первую шину информационного обмена поступают на информационные входы БС 5, с приемопередающего входа-выхода которого по каналу связи они передаются на приемопередающий вход-выход БС 5, входящего в состав УСЗ другого пункта (например, j-го) (на фиг. 1 БС 5 j-го пункта не показан).

Поступающие на приемопередающий вход-выход БС 5 данного i-го пункта с приемопередающего входа-выхода БС 5 другого пункта (например, j-го) значения $\tau_{j\mu}^*$, $a_{1j\mu}^*$, $a_{2j\mu}^*$, $t_{j\mu}$, $\epsilon_{j\mu}$ и $K_{jc\mu}$ с информационного входа-выхода БС 5 через первую шину информационного обмена поступают на первый информационный вход-выход БП 8, где они запоминаются. Затем принятое значение $\tau_{i\mu}^*$ с использованием $a_{1i\mu}^*$, $a_{2i\mu}^*$, $t_{i\mu}$ экстраполируется в БЭП 9 на момент времени $t_{j\mu}$ и передается из БЭП 9 в БСП 10, куда из БП 8 поступает $\tau_{j\mu}^*$. В БСП 10 экстраполированное

значение $\tau_{i\mu}^*$ сравнивается с $\tau_{j\mu}^*$ и определяются параметры относительной поправки

$$\left. \begin{aligned} \tau_{ij\mu}^* &= \tau_{ic\mu}^* - \tau_{jc\mu}^* \\ a_{1ij\mu}^* &= a_{1i\mu}^* - a_{1j\mu}^* \\ a_{2ij\mu}^* &= a_{2i\mu}^* - a_{2j\mu}^* \end{aligned} \right\}. \quad (34)$$

Одновременно в БСП 10 из БП 8 поступают значения $\epsilon_{i\mu}$ и $\epsilon_{j\mu}$ и формируется текущая оценка "невязки" относительной поправки, например как

$$\chi_{ij\mu} = \left(\epsilon_{i\mu}^2 + \epsilon_{j\mu}^2 \right)^{1/2}. \quad (35)$$

Полученное значение $\chi_{ij\mu}$ из БСП 10 передается в БККС 11, где на основе ее сравнения с априорно установленным значением допустимого отклонения относительной поправки ($\Delta_{отн}$)

вырабатывается признак качества относительной поправки, например как

$$K_{ij\mu} = \begin{cases} 1 & \text{при } \chi_{ij\mu} \leq \Delta_{отн} \\ 0 & \text{при } \chi_{ij\mu} > \Delta_{отн} \end{cases}. \quad (36)$$

Одновременно значения $\tau_{i\mu}^*$, $a_{1i\mu}^*$,

$a_{2i\mu}^*$ из БСП 10 передается в БЭП 9, где относительная поправка экстраполируется на текущий момент времени. Полученное значение оценки относительной

поправки $\hat{\tau}_{ij\mu}$ из БЭП 9 передается в БСП 10,

куда поступает K_{ij} из БККС 11, который передается также на исполнительный выход БККС 11.

В БСП 10 при удовлетворительной оценке качества (например, $K_{ij} = 1$) вырабатывается разрешение на передачу на исполнительный выход БСП 10 полученной оценки $\hat{\tau}_{ij\mu}$.

Формируемые на исполнительных выходах БЭП 9 и БСП 10 системные и относительные поправки с учетом признака качества, формируемого на исполнительном выходе БККС 11, затем используются, в зависимости от поставленной задачи, либо для синхронизации местной шкалы времени пункта, либо для соответствующего смещения моментов формирования сигналов, которые синтезируются на данном пункте в соответствии с функциональным назначением последнего.

Таким образом, введение в заявляемую систему новых блоков и новых связей между ними обеспечивает:

в соответствии с (12) и (14) - высокоточное определение координат каждого из N пунктов системы, что снимает требования точного априорного знания этих координат для решения задачи синхронизации ШВ N пространственно разнесенных пунктов;

в соответствии с (33) и (36) - контроль качества формируемых системных и относительных поправок к местной ШВ каждого из N пунктов системы;

повышение точности определения системных и относительных поправок, что следует из (25) и (34) с учетом (16), (24), (26) и (35).

Совокупность указанных положительных особенностей заявляемой системы обеспечивает расширение возможностей по ее использованию, повышение точности и достоверности формируемых текущих поправок к местной шкале времени каждого из N пунктов системы.

Из проведенного рассмотрения видно, что заявляемая система технически реализуема, решает поставленные задачи и может найти применение в системах синхронизации ШВ N пространственно разнесенных пунктов для систем единого времени, радионавигационных систем наземного базирования, пространственно распределенных систем контроля и управления и т.п.

Источники информации

1. Пат. РФ 2024042, кл. G 04 C 11/02. опубл. 30.11.94.

2. Заявка Германии 4230531, кл. G 04 C

11/02. опубл. 18.11.93

3. А.С. СССР 1644079, кл. G 04 C 11/02, опубл. 23.04.91

4. А.С. СССР 1712942, кл. G 04 C 11/02.опубл. 15.02.92.

5. Пат. РФ 2037172, кл. G04C 13/00, 13/02, опубл. 09.06.95.

6. Сетевые спутниковые радионавигационные системы / В.С.Шебшаевич, П.П. Дмитриев, Н.В.Иванцевич и др. /Под ред. В.С.Шебшаевича. - М.: Радио и связь, 1993, с. 255, 257, рис. 17.1, рис. 17.2 (прототип).

Формула изобретения:

Система формирования временных поправок по сигналам спутниковой радионавигационной системы к шкалам времени пространственно разнесенных пунктов, содержащая подсистему космических аппаратов спутниковой радионавигационной системы и N пространственно разнесенных пунктов, каждый из которых содержит последовательно соединенные опорный генератор и формирователь шкалы времени, выход которого является выходом шкалы времени данного пункта, а также устройство синхронизации, которое посредством навигационного радиоканала связано с подсистемой космических аппаратов спутниковой радионавигационной системы и содержит блок связи, приемопередающие входы-выходы которого являются входами-выходами канала связи данного устройства синхронизации с устройствами синхронизации других пунктов, а задающий вход устройства синхронизации соединен с выходом формирователя шкалы времени, отличающаяся тем, что в каждое устройство синхронизации введены приемоизмеритель спутниковой радионавигационной системы, блок управления, блок памяти, блок

экстраполяции поправок, блок сравнения поправок, блок контроля качества синхронизации, блок осреднения координат, блок усреднения ансамбля поправок, блок сглаживания временных поправок и блок сравнения с опорными значениями, причем радиочастотный вход приемоизмерителя является входом приема сигналов навигационного радиоканала устройства синхронизации, опорный вход приемоизмерителя соединен с выходом опорного генератора, выход меток времени внутренней шкалы времени приемоизмерителя подключен к входу установки формирователя шкалы времени, информационный вход которого связан через первую шину информационного обмена с информационными входами-выходами приемоизмерителя и блока связи, а также с первыми информационными входами-выходами блока памяти и блока управления, задающий вход которого является задающим входом устройства синхронизации, а вторые информационные входы-выходы блока управления и блока памяти связаны второй шиной с информационным обменом с информационными входами-выходами блока экстраполяции поправок, блока сравнения поправок, блока контроля качества синхронизации, блока осреднения координат, блока усреднения ансамбля поправок, блока сглаживания временных поправок и блока сравнения с опорными значениями, причем исполнительные выходы блока экстраполяции поправок, блока сравнения поправок и блока контроля качества синхронизации являются соответственно выходами системных поправок, относительных поправок и признака качества временных поправок устройства синхронизации.

5

10

15

20

25

30

35

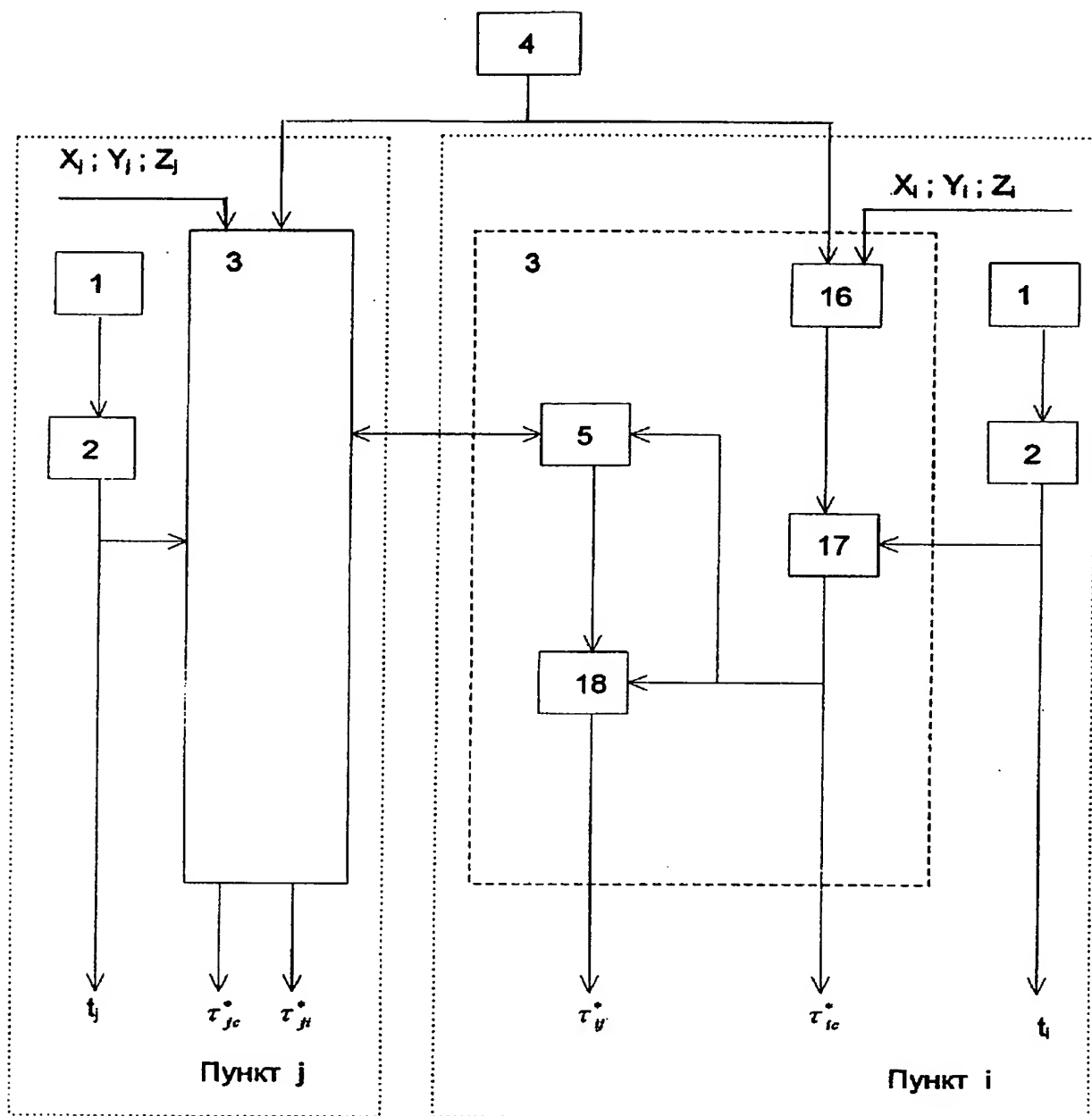
40

45

50

55

60



Фиг. 2